

Лабораторна робота № 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЗАРЯДЖЕННЯ І РОЗРЯДЖЕННЯ КОНДЕНСАТОРІВ. ВИМІРЮВАННЯ ВЕЛИКИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ОПОРІВ І МАЛИХ ІНТЕРВАЛІВ ЧАСУ

Обладнання

1. Мілівольтметр;
2. Джерело напруги;
3. Магазин опорів;
4. Магазин ємностей;
5. Молоток і ковадло.

Теоретичні відомості

У сучасних радіотехнічних пристроях одночасно заряджається і розряджається значна кількість конденсаторів. Щоб добре зрозуміти принцип роботи таких пристроїв, необхідно вивчити процеси зарядження і розрядження конденсаторів.

Нехай конденсатор C ввімкнено в коло згідно зі схемою, показаною на мал. 5.1. При замиканні ключа SA через резистор R протікатиме електричний струм і напруга на конденсаторі наростатиме – конденсатор заряджається. Напрямок напруги на конденсаторі буде протилежним щодо ЕРС джерела, від якого він заряджається. Миттєве значення сили зарядного струму визначається за законом Ома:

$$i = \frac{\mathcal{E} - U}{R}, \quad (5.1)$$

де \mathcal{E} – ЕРС джерела напруги; U – миттєве значення напруги на конденсаторі; R – опір резистора, через який відбувається зарядження конденсатора.

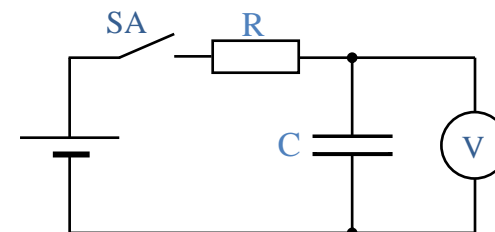
Миттєве значення сили струму $i = \frac{dq}{dt}$, $q = CU$, а тому підставляючи в (1), дістанемо

$$\frac{dU}{dt} RC = \mathcal{E}U. \quad (5.2)$$

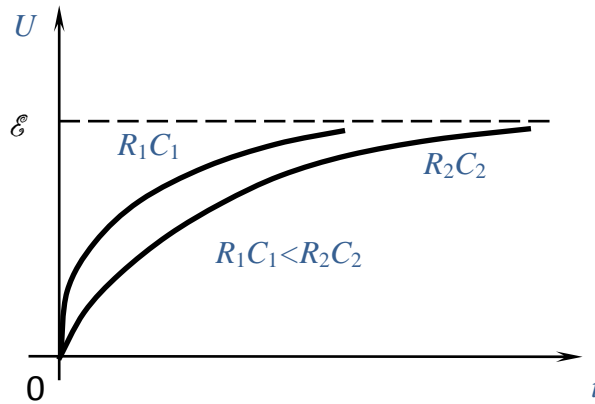
Розділимо змінні:

$$\frac{dU}{\mathcal{E}U} = \frac{dt}{RC}. \quad (5.3)$$

Проінтегруємо (3) $\int \frac{dU}{\mathcal{E}U} = \int \frac{dt}{RC}$:



Мал. 5.1



Мал. 5.2.

$$-\ln(\mathcal{E}U) = \frac{t}{RC} + const. \quad (5.4)$$

Константу знайдемо, використовуючи початкові умови при $t = 0$, $U = 0$, а тому $const = -\ln \mathcal{E}$. Підставляючи в (4) і виконуючи дії, матимемо

$$U = \mathcal{E}(1 - e^{-\frac{t}{RC}}). \quad (5.5)$$

Отже, при зарядженні конденсатора напруга на ньому з часом зростає за експоненціальним законом. Графічно це зображується кривими, показаними на мал. 5.2. З формули (5) і графіків видно, що зі збільшенням часу напруга на конденсаторі безперервно збільшується і асимптотично наближається до ЕРС джерела.

Якщо конденсатор було заряджено до напруги U_0 , то при розрядженні його напруга на ньому зменшиться і через час t дорівнюватиме U . Миттєве значення сили розрядного струму визначається за законом Ома для ділянки кола: $i = \frac{U}{R}$, але $i = \frac{dq}{dt}$, $q = CU$, тому

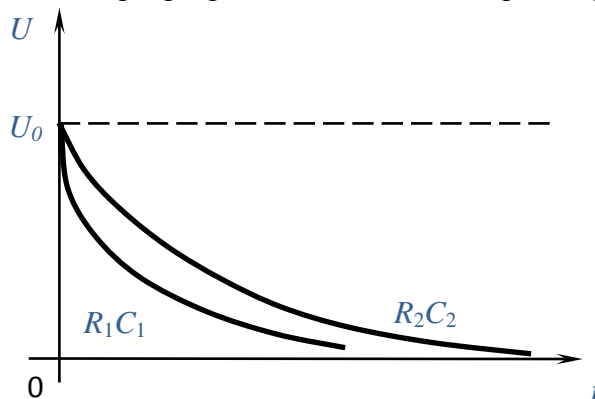
$$RC \frac{dU}{dt} = -U. \text{ Розділивши змінні, дістанемо } \frac{dU}{U} = -\frac{dt}{RC}. \text{ Проінтегруємо одержане співвідношення } \int \frac{dU}{U} = -\int \frac{dt}{RC} \text{ й одержимо} \quad (5.6)$$

$$\ln U = -\frac{t}{RC} + const.$$

Константу знайдемо з початкових умов. При $t = 0$ $U = U_0$, тому $const = \ln U_0$. Підставимо це в (6) і виконаємо дії:

$$U = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}. \quad (5.7)$$

Отже, при розрядженні конденсатора напруга на його обкладках зменшується за експоненціальним законом, асимптотично прямує до нуля. Графічно це показано на мал. 5.3.



Мал. 5.3.

При розрядженні і зарядженні конденсатора струм змінюється за експоненціальним законом, маючи максимальне значення на початку процесу.

Згідно із наведеною теорією електричний струм зарядження і розрядження конденсатора триває нескінченно довго, але практично вже через незначний час сила струму спадає до малої величини, яку неможливо виміряти. Інтервал часу, протягом якого сила струму в розглянутих процесах зменшується в $e=2,71$ раза, називають часом релаксації, або

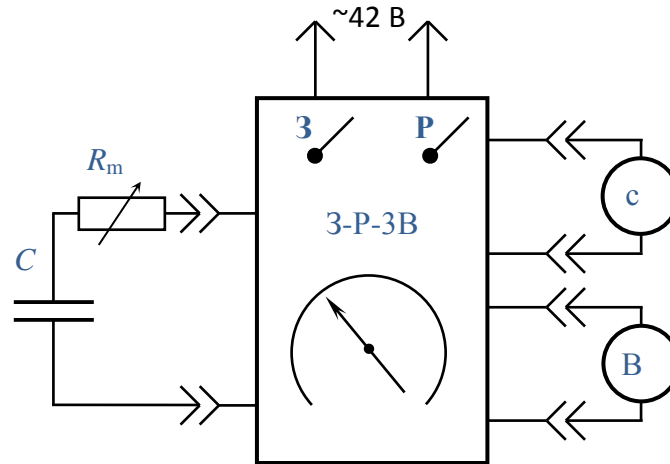
сталой часу. Сила розрядного струму конденсатора визначається за співвідношенням $i = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}$, де $I_0 = \frac{U_0}{R}$ – початкова сила струму, що підпорядкована закону Ома.

Час релаксації знайдемо виходячи з того, що $\frac{I_0}{i} = e$, а тому $e^{-1} = e^{-\frac{t}{RC}}$, звідки $\tau = RC$.

Виконання вимірювань

Завдання I: Дослідити процеси зарядження і розрядження конденсатора.

1. Скласти електричне коло згідно зі схемою, показаною на мал. 5.4.
2. Встановити на магазині ємність вказану викладачем, а опір – 1 МОм.
3. Встановити тумблер «О-П» мілівольтметра в положення «О», та нескінченний опір мілівольтметра (тумблер перевести в положення «∞»).
4. Встановити діапазон вимірювання напруг в 1 В (натиснути клавішу «10»). Увімкнути прилади в освітлювальну мережу.
5. Встановити мікроамперметр на нуль. Тумблер «0-П» перевести в положення «П» (пуск).
6. На джерелі напруги увімкнути тумблер, біля якого є позначення «З» (заряд).
7. Визначити час, протягом якого напруга на конденсаторі буде зростати на 0,1 В. Вимкнути тумблер «З» (заряд).



Мал. 5.4

8. Повторити пункти 6 і 7 заряджаючи конденсатор до 0,9 В з інтервалом 0,1 В.
9. Результати вимірювань занести до таблиць № 5.1.
10. На джерелі напруги увімкнути тумблер, біля якого є позначення «Р» (розряд).
11. Визначити час, протягом якого напруга на конденсаторі зменшуватиметься на 0,1 В. Вимкнути тумблер «Р» (розряд).
12. Повторити пункти 10 і 11 розряджаючи конденсатор до 0,2 В з інтервалом 0,1 В.
13. Результати вимірювань занести до таблиць № 5.2.
14. На основі одержаних результатів побудувати графіки залежності напруги на конденсаторі від часу при його зарядженні і розрядженні. Зробити висновки.

Зарядження конденсатора

$\mathcal{E}=1\text{ В}$, $C=__\text{ мкФ}$, $R=1\text{ МОм}$

Таблиця № 5.1

Зміна напруги на конденсаторі, U_0-U , В	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5-0.6	0.6-0.7	0.7-0.8	0.8-0.9
Час зміни напруги, Δt , с									
Час повної зміни напруги, t , с									

Розрядження конденсатора

$U_0=0,9\text{ В}$, $C=__\text{ мкФ}$, $R=1\text{ МОм}$

Таблиця № 5.2

Зміна напруги на конденсаторі, U_0-U , В	0.9-0.8	0.8-0.7	0.7-0.6	0.6-0.5	0.5-0.4	0.4-0.3	0.3-0.2
Час зміни напруги, Δt , с							
Час повної зміни напруги, t , с							

Завдання II: Виміряти “великі” опори.

Якщо опір резистора дуже великий і становить кілька сот МОм, або кілька ГОм, то виміряти його опір на основі закону Ома практично неможливо через складність вимірювання струмів дуже малої сили. У цьому випадку використовують закономірності зарядження або розрядження конденсатора. Напруга на конденсаторі при його зарядженні змінюється за законом

$$U = \mathcal{E}(1 - e^{-\frac{t}{RC}}).$$

Функцію $x = e^{-\frac{t}{RC}}$ розкладемо в ряд: $e^{-\frac{t}{RC}} = 1 - \frac{t}{RC} + \frac{t^2}{2!R^2C^2} - \frac{t^3}{3!R^3C^3} \dots$

Якщо час зарядження набагато менший від часу релаксації $t \ll RC$, то можна нехтувати членами ряду, починаючи з третього. За цієї умови маємо $U = \frac{\mathcal{E}t}{RC}$. Як бачимо, напруга на конденсаторі за вимірюваний проміжок часу лінійно зростає з часом і вона буде в багато разів меншою від ЕРС. Цю умову можна використати для вимірювання великих опорів.

При вимірюванні великого опору за розрядом конденсатора використовують співвідношення $U = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$. Прологарифмувавши вираз, дістанемо $\ln U = \ln U_0 - \frac{t}{RC}$, звідки $R = \frac{t}{C \ln \frac{U_0}{U}}$.

На практиці дуже зручно розряджати конденсатор до напруги, що становить половину початкової напруги на конденсаторі. За цієї умови $\ln \frac{U_0}{U} = \ln 2 = 0,6931$.

Цим способом найзручніше вимірювати вхідний опір вольтметра, якщо він великий (кілька МОм).

1. Підключити резистор, опір якого невідомий, що змонтований на магазині опорів, користуючись попередньою схемою.
2. Встановити ЕРС джерела зарядження 3 В.
3. На мілівольтметрі встановити діапазон вимірювання напруги 100 мВ (натиснути клавішу «1»).
4. На джерелі напруги увімкнути тумблер, біля якого є позначення «3» (заряд).
5. Виміряти час заряджання конденсатора до досягнення напруги на ньому 50...60 мВ. Вимкнути тумблер «3» (заряд).
6. Результати вимірювань і обчислень занести до таблиці № 5.3:

Таблиця № 5.3

ЕРС джерела \mathcal{E} , В	Ємність конденсатора C , мкФ	Час зарядження t , с	Напруга на конденсаторі U , В	Опір резистора $R = \frac{\mathcal{E}t}{UC}$, Ом

Завдання III: Виміряти “малі” інтервали часу.

Якщо зарядження конденсатора здійснюють до напруги, яка в багато разів менша від ЕРС, то напруга на конденсаторі лінійно змінюється з часом $U = \frac{\mathcal{E}C}{RC}$. Це співвідношення і можна використати для визначення часу, якщо відомі всі інші величини: $t = \frac{URC}{\mathcal{E}}$.

1. Для того щоб виміряти час удару молотка по ковадлу, користуючись попередньою схемою, до конденсатора приєднати ковадло, а до джерела молоток.
2. Замість саморобного високоомного магазина приєднати магазин опорів, на якому встановити опір 1000 Ом.
3. Встановити ЕРС джерела 3 В, діапазон вимірювання напруги 100 мВ.
4. Тумблер мілівольтметра «0-П» перевести в положення «П». Ударити молотком по ковадлу, виміряти напругу, до якої зарядився конденсатор.
5. Якщо напруга буде меншою від 50 мВ, то опір магазина і ємність батареї слід зменшити так, щоб конденсатор за час удару заряджався до напруги, що перевищує 50 мВ.
6. Повторити пункт 4 три рази, визначити середню напругу на конденсаторі.
7. Результати вимірювань і обчислень занести до таблиці № 5.4.

Таблиця № 5.4

ЕРС джерела, \mathcal{E} , В	Ємність конденсатора C , мкФ	Опір резистора R , Ом	Напруга на конденсаторі U , В	Час удару $t = \frac{URC}{\mathcal{E}}$, с

Контрольні питання

1. За яким законом змінюється сила струму (напруга) при зарядженні конденсатора? Вміти його виводити. Показати на графіку.
2. За яким законом змінюється сила струму (напруга) при розрядженні конденсатора? Показати на графіку.
3. Що називається часом релаксації електричного кола? Вивести формулу його обчислення.
4. Обґрунтувати описаний в роботі спосіб вимірювання “великих” опорів.
5. Як виміряти “малі” проміжки часу, використовуючи процес розрядження конденсатора?

Рекомендована література

1. Кучерук І. М., Горбачук І. Т., Луцик П. П. Загальний курс фізики у 3 т.: Навч. посіб. – К.: Техніка, 2001. – Т.2. Електрика і магнетизм. – С. 134–135.
2. Цілінко М. Г. Саморобні електронні прилади в лабораторному практикумі з електрики і магнетизму: Навч. посіб. – К.: ІСДО, 1995. – С. 48–57.

Висновки
